Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 3, Fall 2022, p. 349-361

Effect of Application of Nitrogen Doses Along with Biochar and Zinc Nanoparticles on Quantitative and Qualitative Characteristics of Rice (*Oryza sativa* L.)

S. Sheikhnazari[1], Y. Niknezhad[2*], H. Fallah[3], D. Barari Tari[4]

Received: 05-03-2022 Revised: 30-04-2022 Accepted: 05-05-2022	**How to cite this article:** Sheikhnazari, S., Niknezhad, Y., Fallah, H., and Barari Tari, D. 2022. Effect of Application of Nitrogen Doses Along with Biochar and Zinc Nanoparticles on Quantitative and Qualitative Characteristics of Rice (*Oryza sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 20 (3): 349-361. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/jcesc.2022.75649.1150.

Introduction

Among the various nutrients, nitrogen (N) is the limiting element for crop yield, which application of the optimum doses of this fertilizer in addition to increasing the yield components and grain yield in paddy fields, enhances the profits of rice cultivation in the region. One of the sustainable soil management techniques in paddy fields is the application of rice husk biochar. Biochar improves rice yield by improving soil chemical properties, increasing nutrient storage capacity, and also reducing soil acidity. Zinc deficiency can be the most important limiting factor of rice yield after N, P, and K. Therefore, the application of zinc fertilizer in the form of nanoparticles can be an effective technique to increase the quantitative and qualitative characteristics of rice. Therefore, the present study was conducted to investigate the effects of nitrogen doses along with the application of biochar and also zinc fertilizer in the form of nanoparticles on the quantitative and qualitative characteristics of rice.

Materials and Methods

The field experiment was carried out as a split-plot based on a randomized complete block design with three replications at the farmer's field located in Amol (North of Iran) in cropping season of 2019-2020. In this study, the doses of nitrogen applied at four levels of 0, 25, 50, and 75 kg.ha^{-1} as the main factor and application of fertilizers at four levels of control or no application of biochar and zinc nanoparticles, application of biochar, foliar application of zinc nanoparticles and combined application of biochar and zinc nanoparticles as the sub-factor were considered. The fertilizers of biochar and zinc nanoparticles at 40 ton.ha^{-1} and 50 mg.l^{-1} were used in this experiment, respectively. At harvest time, the yield components, yield, and N and Zn concentrations in grain were measured. Analysis of variance was performed using SAS software (ver. 9.2) and mean comparisons based on the least significant difference (LSD) test at the level of 5% probability.

Results and Discussion

The results showed that the simple effects of experimental treatments were significant on all morphological traits, yield components, and grain yield except the number of filled grains per panicle. The grain N concentration was not affected by biochar and zinc, while grain Zn concentration was significant under this treatment. Also, the impact of N application was significant on N and Zn concentrations in grain. The interaction between experimental treatments was not significant on the studied traits except for the number of fertile tillers

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
2- Assistant Professor, Medicinal Plants Research Center and Department of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
4- Assistant Professor, Department of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
(*- Corresponding Author Email: yousofniknejad@gmail.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2022.75649.1150

per hill. The maximum fertile tillers number per hill (17.66 tillers) was obtained by using a combination of biochar + zinc nanoparticles + 50 kg N ha^{-1}, which indicates the positive impacts of simultaneous application of these fertilizers. The application of N fertilizer at the amounts of 50 and 75 $kg.ha^{-1}$, respectively, resulted in maximum grain yield (4340 $kg.ha^{-1}$) and production of the highest grain N concentration (1.30%). Although the use of each of the biochar and zinc oxide nanoparticles improved the yield components, yield, and nutrient concentrations in rice grain, the combined application of biochar and zinc nanoparticles significantly increased the quantitative and qualitative characteristics of rice, so that the highest grain yield (4062 $kg.ha^{-1}$) and greatest Zn concentration in grain (28.5 $mg.kg^{-1}$) was observed under the simultaneous application of biochar + nanoparticles.

Conclusion

According to the results of the present study, N application at the rate of 50 $kg.ha^{-1}$ and simultaneous application of rice husk biochar + zinc nanoparticles are introduced as the optimal dose of N and the ideal fertilizer option to increase crop yield and enrich rice grains.

Keywords: Grain yield, Nanofertilizer, Nitrogen concentration, Zinc concentration

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۳، پاییز ۱٤۰۱، ص ۳٦۱-۳٤۹

اثر مصرف مقادیر نیتروژن همراه با بیوچار و نانوذرات روی بر خصوصیات کمی و کیفی برنج (*Oryza sativa* L.)

سبحان شیخ نظری[۱]، یوسف نیک‌نژاد[۲*]، هرمز فلاح[۳]، داوود براری تاری[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۵

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات مصرف مقادیر مختلف نیتروژن همراه با کاربرد بیوچار پوسته برنج و نانوذرات روی بر خصوصیات کمی و کیفی برنج رقم طارم هاشمی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه شخصی واقع در شهرستان آمل در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. مصرف مقادیر نیتروژن در چهار سطح (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار) از منبع کود اوره به‌عنوان عامل اصلی و کاربرد کودهای بیوچار (۴۰ تن در هکتار) و نانوذرات روی (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) در چهار سطح شامل: ۱- شاهد (عدم مصرف بیوچار و نانواکسید روی)، ۲- کاربرد بیوچار، ۳- کاربرد نانواکسید روی و ۴- کاربرد ترکیبی بیوچار و نانواکسید روی به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که کاربرد کود نیتروژن در مقادیر ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب موجب حصول حداکثر عملکرد دانه (۴۳۴۰ کیلوگرم در هکتار) و تولید بالاترین غلظت نیتروژن دانه (۱/۳۰ درصد) گردید. کاربرد ترکیبی بیوچار و نانوذرات روی سبب افزایش معنی‌دار خصوصیات کمی و کیفی برنج گردید، به گونه‌ای که بیشترین عملکرد دانه تولیدی (۴۰۶۲ کیلوگرم در هکتار) و حداکثر غلظت روی در دانه (۲۸/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در شرایط کاربرد همزمان بیوچار + نانوذرات مشاهده شد. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، مصرف نیتروژن به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار و کاربرد همزمان بیوچار پوسته برنج + نانوذرات روی به‌عنوان مقدار بهینه نیتروژن و گزینه مطلوب کودی جهت افزایش عملکرد محصول و غنی‌سازی دانه برنج شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه، غلظت روی، غلظت نیتروژن، نانوکود

مقدمه

در بین عناصر مختلف غذایی، نیتروژن یکی از عناصر پرمصرف و محدودکننده عملکرد محصولات زراعی است (Islam *et al*., 2016) که کاربرد بهینه آن موجب افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج (*Oryza sativa* L.) در اراضی شالیزاری و افزایش سود حاصل از زراعت برنج در منطقه می‌شود (Faraji *et al*., 2012). کاربرد اصولی کود نیتروژن در شالیزارهای شمال ایران جهت دست‌یابی به پتانسیل عملکرد برنج امری ضروری است (Jafari Kelarijani *et al*., 2021). اگرچه مصرف کودهای نیتروژنی موجب بهبود عملکرد دانه در برنج می‌گردد (Tayefe *et al*., 2014)، ولی مصرف بیش از اندازه آن نیز موجب کاهش کارآیی استفاده از نیتروژن و هم‌چنین مشکلات زیست‌محیطی می‌گردد (Xu *et al*., 2015). علاوه بر اثرات زیست‌محیطی، کاهش رشد و عملکرد برنج نیز به دنبال مصرف مقادیر بالای کود نیتروژن گزارش شده است (Pampolino *et al*., 2007). بنابراین به‌کارگیری روش‌های جایگزین مدیریت کود نیتروژن جهت افزایش عملکرد محصولات زراعی همراه با کاهش مخاطرات زیست‌محیطی می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای رسیدن به تولید پایدار محصول باشد (Islam *et al*., 2016).

یکی از روش‌های پایدار مدیریت خاک اراضی زراعی، استفاده از اصلاح‌کننده بیوچار پوسته برنج است (Oladele *et al*., 2019). بیوچار از تجزیه حرارتی مواد آلی در یک محیط با اکسیژن محدود حاصل می‌شود که ویژگی‌های آن موجب اصلاح خاک می‌گردد (Bouqbis *et al*., 2016). بیوچار از طریق بهبود خصوصیات شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری مواد غذایی و هم‌چنین کاهش اسیدیته خاک (Ajayi and Horn, 2016) موجب بهبود عملکرد برنج می‌گردد (Koyama *et al*., 2016). گزارش شده که

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
۲- استادیار، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی و گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
۳- استادیار، گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
۴- استادیار، گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: yousofniknejad@gmail.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2022.75649.1150

مصرف بیوچار به‌واسطه افزایش کارآیی مصرف کود نیتروژن موجب افزایش بهره‌وری محصول برنج و هم‌چنین کاهش آلودگی زیست‌محیطی گردید (Oladele *et al.*, 2019). سایر محققان گزارش دادند که کاربرد بیوچار ضمن کاهش آبشویی نیتروژن از خاک (Manolikaki and Diamadopoulos, 2017) موجب افزایش کارآیی مصرف عناصر غذایی و بهبود عملکرد برنج شد (Lai *et al.*, 2017). بررسی‌های به عمل آمده توسط علی و همکاران (Ali *et al.*, 2020a) نشان داد که کاربرد ترکیبی بیوچار و کود شیمیایی نیتروژن موجب افزایش ۶۴ درصدی عملکرد دانه برنج شد. افزایش ۷۸ درصدی عملکرد برنج با مصرف همزمان بیوچار و نیتروژن (Oladele *et al.*, 2019) و همچنین افزایش ۷/۲ درصدی عملکرد دانه برنج با کاربرد ۴۰ تن در هکتار بیوچار (Mahmoud Soltani and Abbasian, 2021) در نتایج سایر پژوهشگران گزارش شده است. هوآنگ و همکاران (Huang *et al.*, 2019) با بررسی اثرات بیوچار بر عملکرد برنج طی دو سال زراعی بیان نمودند که کاربرد بیوچار در اراضی شالیزاری منجر به بهبود اجزای عملکرد نظیر تعداد خوشه و تعداد خوشه‌چه در متر مربع و همچنین افزایش بیوماس و عملکرد دانه برنج گردید.

کمبود عنصر کم‌مصرف روی می‌تواند پس از عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد برنج باشد (Rehman, 2014). برنج رشد یافته تحت شرایط غرقاب به‌دلیل کاهش پتانسیل احیاء و عدم تحرک روی در شرایط بی‌هوازی خاک، قابلیت دسترسی کمتری به جذب روی دارد (Tuyogon *et al.*, 2016). کاهش غلظت روی در دانه برنج ممکن است به کمبود روی در جمعیت‌های حساس انسانی منجر شود (Hussain *et al.*, 2012) که این مساله یک نگرانی جهانی برای تغذیه انسان محسوب می‌گردد (Farooq *et al.*, 2018). در سال‌های اخیر کاربرد کود روی به فرم نانوذرات جهت افزایش خصوصیات کمی و کیفی برنج مورد توجه قرار گرفته است (Kheyri *et al.*, 2019a).

نانوکودها در مقایسه با کودهای متداول شیمیایی، راندمان مصرف بالاتری دارند و در نقطه مناسبی از ناحیه رشد، عناصر غذایی خود را آزاد می‌کنند که این عمل اثر معنی‌داری را در خصوصیات رشدی گیاهان ایجاد می‌کند (Mazaherinia *et al.*, 2010). استفاده از نانوذرات می‌تواند ضمن افزایش راندمان مصرف عناصر غذایی و بهبود رشد گیاه، موجب کاهش اثرات زیست‌محیطی در مقایسه با روش‌های سنتی به‌کار گرفته شده گردد (Alharby *et al.*, 2016). مطالعات انجام شده توسط خیری و عباسعلی‌پور (Kheyri and Abbasalipour, 2021) نشان داد که کاربرد نانوذرات اکسید روی در مراحل مختلف رشد برنج موجب افزایش عملکرد و بهبود غلظت روی در دانه برنج گردید. سایر محققان گزارش نمودند که مصرف همزمان بیوچار و سولفات روی موجب بهبود اجزای عملکرد و عملکرد برنج گردید (Mahmoud Soltani and Abbasian, 2021).

بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات کاربرد بیوچار پوسته برنج و نانوذرات اکسید روی همراه با مصرف مقادیر مختلف کود نیتروژن بر خصوصیات کمی و کیفی برنج جهت شناسایی تیمار مناسب برای بهبود تولید برنج انجام گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این پژوهش، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه شخصی واقع در شهرستان آمل طی سال زراعی ۱۳۹۹ اجرا گردید. منطقه اجرای طرح با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی در ارتفاع ۱۷۵ متری از سطح دریای آزاد قرار گرفته است. قبل از اجرای آزمایش اقدام به نمونه‌برداری از خاک محل اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری گردید که نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

Table 1- Physical and chemical properties of soil before planting at a depth of 0 to 30 cm

بافت خاک Soil Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی Organic carbon (%)	ماده آلی Organic matter (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب K ($mg.kg^{-1}$)	روی قابل جذب Zn ($mg.kg^{-1}$)
Clay	7.36	1.92	1.29	2.23	0.18	11.8	163	0.86

تیمارهای آزمایش شامل مصرف مقادیر نیتروژن در چهار سطح (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار) از منبع کود اوره به‌عنوان عامل اصلی و کاربرد کودهای بیوچار و نانوذرات روی در چهار سطح شامل: ۱- شاهد (عدم مصرف بیوچار و نانواکسید روی)، ۲- کاربرد بیوچار، ۳- کاربرد نانواکسید روی و ۴- کاربرد ترکیبی بیوچار و نانواکسید روی به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. در این آزمایش از بذر رقم طارم هاشمی جهت کاشت استفاده شد. رقم طارم هاشمی جزء ارقام بومی، کیفی و از گروه ایندیکا می‌باشد که از نظر

عملکردی در گروه ارقام کم‌محصول قرار می‌گیرد ولی کیفیت مطلوب و طعم خوبی دارد و همچنین جزء ارقام زودرس و پابلند محسوب می‌شود که قدرت پنجه‌زنی متوسطی دارد (Nematzadeh *et al.*, 1993). زمین محل اجرای آزمایش بعد از عملیات کامل آماده‌سازی شامل شخم بهاره، روتیواتور، ماله‌کشی و تسطیح به ۴۸ کرت مساوی تقسیم گردید که ابعاد هر کرت آزمایش ۵×۲ متر مربع بود. نشاکاری به تعداد سه نشا در کپه و با فواصل ۲۰×۲۰ سانتی‌متر مربع انجام شد. جهت جلوگیری از تداخل کودی بین کرت‌های مختلف، مرز بین کرت‌ها به عرض و عمق ۳۰ سانتی‌متر با پوشش پلاستیکی عایق‌بندی شد. تمام کرت‌های آزمایشی کودهای فسفر و پتاسیم را به‌ترتیب از منابع سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به مقدار ۷۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از نشاکاری دریافت نمودند. کود نیتروژن از منبع اوره بر اساس تیمارهای تعریف شده طی سه بخش (یک‌دوم به‌صورت پایه، یک‌چهارم در مرحله پنجه‌زنی و یک‌چهارم در مرحله خوشه‌دهی) در کرت‌های مورد نظر مصرف شد. در این آزمایش از بیوچار پوسته برنج به‌عنوان ماده اصلاح‌کننده استفاده شد که جهت تهیه آن، پوسته‌های برنج در ورقه‌های آلومینیومی بسته‌بندی و به مدت ۳۰ تا ۴۵ دقیقه در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در داخل کوره قرار داده شدند تا فرآیند آتشکافت (فرآیند سوختن کند و آرام مواد آلی در شرایط کم یا عدم وجود اکسیژن) صورت پذیرد و بیوچار تولید گردد. اسیدیته و هدایت الکتریکی در نسبت یک به ۱۰ بیوچار به آب اندازه‌گیری شد. بیوچار پوسته برنج به مقدار ۴۰ تن در هکتار بر اساس تیمارهای مورد نظر با خاک مخلوط شد. نانوذرات اکسید روی مورد استفاده در این مطالعه تولید شرکت تحقیقات نانو مواد آمریکا (US Research Nanomaterials, Inc.) بود که در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر طی مراحل پنجه‌زنی، ظهور خوشه‌آغازین و خوشه‌دهی کامل محلول‌پاشی شد. مشخصات بیوچار و نانوذرات اکسید روی مورد استفاده در این آزمایش به‌ترتیب در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- خصوصیات بیوچار مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Characteristics of the biochar used in experiment

نسبت کربن/نیتروژن C:N ratio (%)	پتاسیم K (%)	فسفر P (%)	نیتروژن N (%)	کربن C (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH
70.7	1.01	0.09	0.67	47.4	0.26	8.5

جدول ۳- خصوصیات نانوذرات اکسید روی مورد استفاده در آزمایش

Table 3- Characteristics of zinc oxide nanoparticles used in experiment

رنگ Color	سطح ویژه مخصوص SSA ($g\ m^{-2}$)	تراکم واقعی True density ($g\ cm^{-3}$)	اندازه ذرات Particles size (nm)	درصد خلوص Purity percentage (%)	نانوذره Nanoparticle
Milky white	20-60	5.606	10 - 30	>99%	ZnO

سایر عملیات زراعی بر اساس عرف منطقه انجام شد. به‌همین منظور، جهت کنترل علف‌های هرز از علف‌کش بوتاکلر به‌میزان ۳/۵ لیتر در هکتار یک هفته پس از نشاکاری استفاده و همچنین وجین دستی طی دو مرحله در ۲۰ و ۳۸ روز بعد از نشاکاری انجام شد. برای مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج از حشره‌کش دیازینون (گرانول ۱۰٪) به‌میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار در مراحل پنجه‌زنی و خوشه‌دهی استفاده شد. در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، نمونه‌های گیاهی به‌صورت تصادفی از هر کرت آزمایش انتخاب شدند. ارتفاع بوته و طول خوشه با اندازه‌گیری از ۱۲ بوته در هر کرت و در نهایت بر اساس میانگین آن‌ها تعیین شدند. اندازه‌گیری تعداد پنجه بارور در کپه با شمارش از روی ۱۲ کپه در هر کرت و بر اساس میانگین آن‌ها به‌دست آمد. تعداد دانه پر در خوشه با شمارش از روی ۲۰ خوشه در هر کرت تعیین شد. وزن هزار دانه با شمارش ۱۰ نمونه صدتایی و توزین آن‌ها به‌دست آمد. عملکرد دانه پس از حذف اثرات حاشیه، با برداشت مساحت چهار متر مربع از وسط هر کرت آزمایش و بر اساس رطوبت ۱۴ درصد محاسبه گردید. غلظت نیتروژن دانه (شلتوک) با استفاده از روش میکروکجلدال (Fageria *et al.*, 2014) و غلظت روی دانه (شلتوک) با استفاده از روش جذب اتمی شعله‌ای (Emami, 1996) تعیین گردید. در نهایت، تجزیه واریانس داده‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسات میانگین بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. همچنین، نمودار توسط نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده تیمارهای نیتروژن، بیوچار و روی بر صفت مورفولوژیکی ارتفاع بوته

(P≤0.01) معنی‌دار شد ولی ارتفاع بوتـه تحـت تـأثیر اثـر متقابـل دو فاکتور قرار نگرفت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین مقادیر نیتـروژن مصرفی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۴۵ سانتی‌متر) از بالاترین مقدار نیتروژن مصرفی (۷۵ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد و بـا عـدم مصرف نیتروژن (شاهد)، ارتفاع به میزان ۲۲/۹ درصد کـاهش یافـت. هم‌چنین بین مقادیر ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از نظر ارتفاع بوته اختلاف آماری معنـی‌داری مشـاهده نگردیـد (جـدول ۵). نتیجـه حاصله حاکی از آن بود که کمبـود نیتـروژن سـبب کـاهش ارتفـاع و افزایش مقدار مصرف نیتروژن به‌طور معنـی‌داری منجـر بـه افـزایش ارتفاع بوته برنج گردید. بـین کـاربرد نیتـروژن و رشـد رویشـی بـرنج همبستگی مثبـت و معنـی‌داری وجـود دارد (Tayefe *et al*., 2014). سایر محققان نیز گزارش دادند که افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن موجب افزایش ارتفاع بوته و هم‌چنین سرعت رشد گیاه می‌گردد، کـه با نتایج مطالعه حاضر مطابقـت دارد (Fageria and Santos, 2008). نتیجه نشـان داد کـه اگرچـه مصـرف مقـدار ۷۵ کیلـوگرم در هکتـار نیتروژن منجر به تولید گیاهانی با ارتفاع بلندتر نمود ولی ارتفـاع زیـاد بوته ممکن است مشکلاتی نظیر ورس را ایجاد نماید و از طرفـی بـه دلیل افزایش فاصله بین منبع و مخزن در گیاه سبب کـاهش سـرعت جذب و انتقال مواد فتوسـنتزی و در نتیجـه کـاهش عملکـرد گـردد، بنابراین ارتفاع بیش از اندازه بوته صفت مطلوبی محسوب نمی‌شود. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۵، ارتفاع بوته گیـاه در تیمـار کـاربرد کودهای بیوچار و نانواکسید روی اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشـتند ولی مصرف ترکیبی این کودها موجب افزایش ۷/۶ درصدی ارتفاع در مقایسه با شاهد شد (جدول ۵). گزارش شده که مصرف بیوچار بقایای برنج موجب افزایش ارتفاع بوته برنج طی ۸ هفتـه پـس از نشـاکاری برنج شد (Kamara *et al*., 2015). استفاده از عناصر غذایی در فـرم نانوذرات موجب کاهش تلفات عناصر غذایی و هم‌چنین بهبـود رشـد محصول می‌گردد (Dimkpa *et al*., 2017).

طول خوشه

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بـود کـه اثـرات اصـلی مقـدار مصرف نیتروژن و کودهای بیوچار و روی بر طـول خوشـه (P≤0.01) معنی‌دار شد ولی اثر متقابل عوامل آزمایش بر طـول خوشـه معنـی‌دار نگردید (جدول ۴). نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد کـه طـول خوشه در پاسخ به مصرف کود نیتروژن افزایش یافت، به طـوری کـه کوتاه‌ترین طول خوشه با میانگین ۲۴/۳ سـانتی‌متـر در شـرایط عـدم مصرف نیتروژن مشاهده شد ولی با کاربرد نیتروژن در مقادیر ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار، طول خوشه به‌ترتیب حـدود ۶/۲، ۷/۲ و ۶/۹ درصد افزایش یافت. بین کاربرد مقادیر مختلف نیتروژن نیـز اخـتلاف آماری معنی‌داری از نظر طـول خوشـه مشـاهده نگردیـد (جـدول ۵). اگرچه طول خوشه یک صفت ژنتیکی محسوب می‌شـود ولـی تحـت تأثیر عوامل مختلف محیطی نظیر میزان تشعشع و مـواد غـذایی نیـز قرار می‌گیـرد (Kheyri and Mobasser, 2016). یافتـه‌هـای مـا در راستای نتایج کاووسی و یزدانـی (Kavoosi and Yazdani, 2020) می‌باشد که گزارش نمودند طول خوشه برنج با افزایش مقدار مصـرف نیتروژن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج تحت تیمارهای آزمایش

Table 4- Analysis of variance for morphological traits, yield components and grain yield of rice under experimental treatments

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	طول خوشه Panicle length	تعداد پنجه بارور در کپه No. fertile tillers hill^{-1}	تعداد دانه پر در خوشه No. filled grains panicle^{-1}	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield
Replication	تکرار	2	33.25	0.020	0.91	38.39	0.07	96545.31
Nitrogen (N)	نیتروژن	3	2301.74**	9.46**	102.56**	126.02^{ns}	2.27**	3957595.83**
Main error	خطای اصلی	6	12.88	0.56	0.22	18.72	0.03	45497.40
Fertilizers (F)	کودها	3	282.85**	8.78**	14.57**	24.35^{ns}	1.75**	479048.61*
N×F	نیتروژن×کودها	9	43.74^{ns}	0.56^{ns}	2.49*	13.98^{ns}	0.28^{ns}	57462.04^{ns}
Sub error	خطای فرعی	24	32.56	1.15	0.80	61.61	0.32	125592.01
CV (%)	ضریب تغییرات	-	4.3	4.2	6.8	8.8	2.2	9.2

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. (کودها: بیوچار و نانوذرات روی)

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively. (Fertilizers: Biochar and Zinc nanoparticles)

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج تحت تیمارهای آزمایش

Table 5- Mean comparison of morphological traits, yield components and grain yield of rice under experimental treatments

تیمارهای آزمایش Experimental treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول خوشه Panicle length (cm)	تعداد پنجه بارور در کپه No. fertile tillers $hill^{-1}$	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)
Nitrogen rate ($kg\ ha^{-1}$) مقدار نیتروژن					
0	111.8[c]	24.3[b]	8.9[d]	25.3[b]	3047[c]
25	133.5[b]	25.9[a]	13.1[c]	26.1[a]	3865[b]
50	133.4[b]	26.2[a]	15.5[a]	26.3[a]	4340[a]
75	145.0[a]	26.1[a]	14.6[b]	26.1[a]	4172[a]
کود (Fertilizer)					
شاهد Control	127.3[b]	24.8[b]	11.9[b]	25.5[c]	3657[c]
بیوچار Biochar	130.8[b]	25.1[b]	12.4[b]	25.8[bc]	3715[bc]
نانواکسید روی ZnO-NPs	127.7[b]	26.0[a]	13.8[a]	26.1[ab]	3989[ab]
بیوچار + نانواکسید روی Biochar + ZnO-NPs	137.8[a]	26.6[a]	14.2[a]	26.4[a]	4062[a]

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

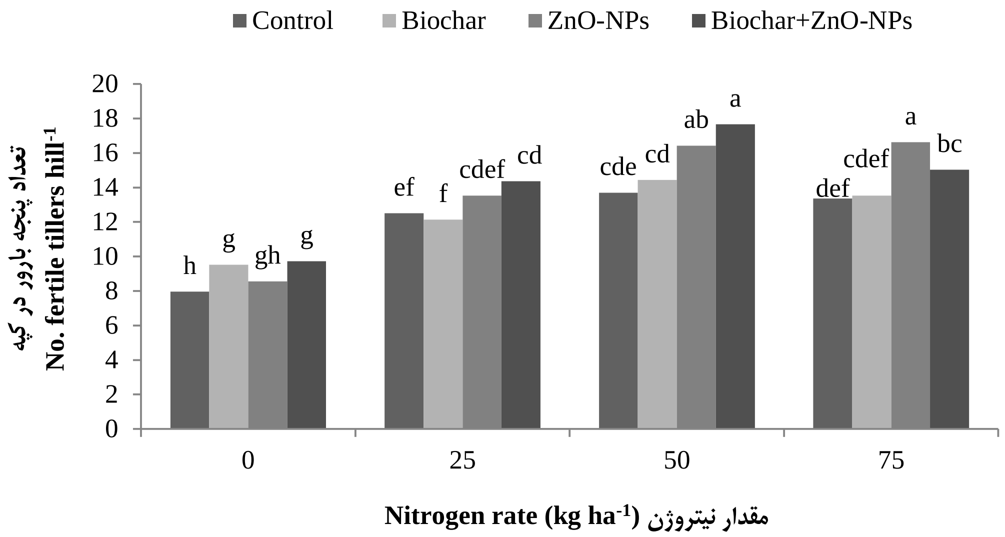
Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability according to LSD test.

نتایج مقایسه میانگین اثرات کودهای بیوچار و نانواکسید روی نشان داد که مصرف بیوچار به تنهایی تغییر معنی‌داری در طول خوشه ایجاد نکرد ولی مصرف جداگانه نانوذرات اکسید روی و هم‌چنین کاربرد ترکیبی بیوچار و نانوذرات اکسید روی به‌ترتیب سبب افزایش ۴/۶ و ۶/۸ درصدی طول خوشه شدند. نتیجه حاصله نشان داد که محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی اثرات مثبت بیشتری بر افزایش طول خوشه در مقایسه با بیوچار داشت، ضمن این‌که افزودن بیوچار به نانوذرات اکسید روی نقش مهمی در بهبود طول خوشه نشان داد (جدول ۵). بررسی‌های به عمل آمده توسط سایر محققان نیز حاکی از اثرات مثبت معنی‌دار محلول‌پاشی نانواکسید روی بر طول خوشه می‌باشد، که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد (Kheyri *et al.*, 2019; Kheyri and Abbasalipour, 2021).

تعداد پنجه بارور در کپه

نتایج نشان داد که اثرات ساده مقادیر نیتروژن و کودهای بیوچار و نانواکسید روی ($P\leq0.01$) و اثر متقابل فاکتورهای آزمایش ($P\leq0.05$) بر تعداد پنجه بارور در کپه معنی‌دار گردید (جدول ۴). نتایج حاصله نشان داد که حداکثر تعداد پنجه بارور در کپه به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۶/۶۳ و ۱۷/۶۶ پنجه با کاربرد ترکیبی نانواکسید روی + ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و بیوچار + نانواکسید روی + ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن حاصل شد، اگرچه با تیمار مصرف همزمان نانواکسید روی + ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن نیز اختلاف آماری معنی‌داری نشان ندادند. حداقل تعداد پنجه بارور در کپه نیز با حدود ۵۴/۹ درصد کاهش نسبت به بیشترین تعداد پنجه در شرایط شاهد یا عدم مصرف تیمارهای آزمایش مشاهده شد (شکل ۱). نتیجه نشان داد که با مصرف مقدار مناسبی از کود نیتروژن همراه با کاربرد کودهای نانواکسید روی و بیوچار، به‌خصوص استفاده از نانوذرات می‌توان تعداد پنجه بارور در کپه را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید. در واقع دلیل افزایش تعداد پنجه بارور با کاربرد ترکیبی نیتروژن + بیوچار + نانواکسید روی را می‌توان به بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و هم‌چنین افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه برنج نسبت داد. گزارش شده که مصرف همزمان نیتروژن و بیوچار منجر به افزایش تعداد پنجه‌های بارور در مقایسه با گیاهان شاهد شد (Lai *et al.*, 2017). افزایش رشد و عملکرد محصولات زراعی با کاربرد همزمان بیوچار و سایر کودها در مقایسه با مصرف جداگانه این کودها در نتایج لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2012) گزارش شده است. به‌طور کلی در شرایط مصرف نیتروژن، به‌خصوص در تیمارهای مصرف ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار، کاربرد نانوذرات روی اثرات بهتری در مقایسه با بیوچار بر تعداد پنجه بارور در کپه داشت، که نشان‌دهنده تأثیر مثبت کود روی بر پنجه‌زنی برنج می‌باشد. عنصر روی از طریق سنتز نوکلئوتیدها، متابولیسم اکسین و افزایش فعالیت آنزیم‌ها موجب بهبود تولیدات پنجه در گیاهان می‌شود (Mahmoud-Soltani *et al.*, 2020). شیخزاده و همکاران (Sheykhzadeh *et al.*, 2021) اثرات مثبت نانوذرات روی را در افزایش پنجه‌زنی برنج گزارش نمودند. مطالعات انجام شده توسط سایر محققان نیز نشان داد که محلول‌پاشی کود روی از طریق افزایش غلظت روی در گیاه منجر

به افزایش تعداد پنجه‌های بارور می‌گردد (Kheyri *et al*., 2019b; Farooq *et al*., 2018).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل بین مقدار نیتروژن و کودهای بیوچار و روی بر تعداد پنجه بارور در کپه. (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند).

Figure 1- Mean comparison of interaction between N rate and fertilizers of biochar and ZnO-NPs on number of fertile tillers hill^{-1}. (Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability according to LSD test).

تعداد دانه پر در خوشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که تعداد دانه پر در خوشه از نظر آماری تحت تأثیر هیچ‌یک از تیمارهای آزمایش و اثر متقابل بین آن‌ها قرار نگرفت (جدول ۴). در نتایجی مشابه، هیرزل و همکاران (Hirzel *et al*., 2011) بیان داشتند که بین مقادیر مختلف مصرف کود نیتروژن اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد دانه‌های پر شده در خوشه وجود نداشت. هم‌چنین نتایج سایر محققان حاکی از آن بود که افزودن بیوچار به خاک اثر معنی‌داری بر تعداد خوشه بارور نداشت (Cui *et al*. 2017).

وزن هزار دانه

نتایج نشان داد که اثرات ساده تیمارهای نیتروژن و کودهای بیوچار و روی بر صفت وزن هزار دانه ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد ولی تحت تأثیر اثر متقابل دو عامل قرار نگرفت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین مقادیر نیتروژن مصرفی نشان داد که کاربرد نیتروژن در تمام سطوح مصرفی موجب بهبود وزن هزار دانه در مقایسه با شاهد شد، در حالی که بین مقادیر مختلف نیتروژن اختلاف معنی‌داری از نظر وزن هزار دانه مشاهده نشد (جدول ۵). گزارش شده که صفت وزن هزار دانه نسبت به مصرف مقادیر مشخصی از کود نیتروژن پاسخ مثبتی نشان می‌دهد (Pramanik and Bera, 2013)، که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت. در تحقیق حاضر مشخص شد که اگرچه مصرف هر یک از کودهای بیوچار و نانوذرات روی می‌تواند موجب بهبود وزن هزار دانه گردد ولی کاربرد ترکیبی بیوچار و نانواکسید روی منجر به تولید بالاترین وزن هزار دانه (۲۶/۴ گرم) شد، که حاکی از تأثیر مثبت مصرف همزمان این کودها بر وزن دانه می‌باشد. حداقل وزن هزار دانه (۲۵/۵ گرم) نیز در شرایط شاهد یا عدم مصرف کودهای بیوچار و روی مشاهده گردید (جدول ۵). در نتایجی مشابه با تحقیق حاضر، محمود سلطانی و عباسیان (Mahmoud Soltani and Abbasian, 2021) گزارش دادند که افزودن بیوچار به خاک موجب افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. بین کاربرد بیوچار و نانواکسید روی تفاوت معنی‌داری از نظر وزن هزار دانه وجود نداشت ولی در عین حال کاربرد نانوذرات اثرات بهتری در مقایسه با بیوچار بر وزن هزار دانه داشت. افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه برنج با مصرف نانواکسید روی در نتایج شیخزاده و همکاران (Sheykhzadeh *et al*., 2021) گزارش شده است، که در راستای نتایج حاصل از این تحقیق می‌باشد. کود روی از طریق افزایش مواد فتوسنتزی، کاهش محدودیت منبع و انتقال بهتر مواد پرورده به دانه موجب افزایش وزن هزار دانه می‌شود (Mahmoud-Soltani *et al*., 2020).

عملکرد دانه

نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده مقدار مصرف نیتروژن ($P\leq0.01$) و اثرات تیمار بیوچار و روی ($P\leq0.05$) بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید ولی اثر متقابل فاکتورهای آزمایش بر عملکرد معنی‌دار نشد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین

اثرات نیتروژن مصرفی نشان داد کـه کـاربرد کـود نیتـروژن در تمـام سطوح مصرفی منجر به افزایش عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شـد اگرچه بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب با میانگین‌هـای ۴۳۴۰ و ۴۱۷۲ کیلوگرم در هکتار با مصرف نیتروژن در مقادیر ۵۰ و ۷۵ کیلـوگرم در هکتار به‌دست آمد که حدود ۲۹/۸ و ۲۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد یا عدم کاربرد نیتـروژن بـود (جـدول ۵). نتیجـه حاصـله نشـان داد کـه مصرف مقدار پایین کود نیتروژن (۲۵ کیلـوگرم در هکتـار) منجـر بـه تولید حداکثری عملکرد دانه نشد. مصرف مقادیر پایین عنصـر غـذایی موجب کاهش عملکرد به دلیل کمبود عناصر غذایی در گیاه مـی‌شـود (Paramasivam *et al.*, 2005). نتایج حاصل از مقایسـات میـانگین اثرات ساده کودهای بیوچار و روی نشان داد که حداکثر عملکرد دانـه (۴۰۶۲ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ترکیبی بیوچار + نانوذرات اکسـید روی حاصل گردید اگرچه با مصرف نانوذرات روی (۳۹۸۹ کیلوگرم در هکتار) در یک گروه آماری قرار گرفـت. اسـتفاده از نـانوذرات اکسـید روی اثرات مثبت بیشتری در مقایسه با بیوچار بر عملکرد دانه داشـت اگرچه این اختلاف معنی‌دار نبـود. بـا وجـود ایـن‌کـه کـاربرد بیوچـار به‌تنهایی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد نسبت به شـاهد نشـد ولـی افزودن این اصلاح‌کننده خاک به نانوذرات روی موجب تولید حـداکثر عملکرد دانه برنج گردید که نشان می‌دهد این ترکیب می‌تواند مکمل مناسبی جهت بهبود عملکرد دانه برنج باشد. افزایش عملکرد دانـه بـا کاربرد ترکیبی بیوچار و نانوذرات اکسـید روی ممکـن اسـت بـه‌دلیـل اثرات مثبت این ترکیب کودی بر اجزای عملکـرد بـه‌خصـوص تعـداد پنجه بارور در کپه و همچنین غلظـت عناصـر غـذایی در دانـه باشـد. نانوذرات اکسید روی از طریق آزادسازی تـدریجی عناصـر غـذایی در طول مراحل بحرانی رشـد گیـاه موجـب بهبـود عملکـرد دانـه بـرنج می‌شوند (Yuvaraj and Subramanian, 2014). گزارش شـده کـه نانوذرات روی به‌واسطه حلالیت زیاد و سطح ویژه بالا موجـب تـأمین عناصر غذایی ریزمغذی مورد نیاز گیاه و در نهایت بهبود عملکرد دانـه محصول می‌شود (Panam *et al.*, 2016). کـاربرد بیوچـار همـراه بـا کودهای شیمیایی به دلیل فراهمـی عناصـر غـذایی مـورد نیـاز گیـاه موجب افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه مـی‌گـردد (Schulz *et al.*, 2013). گزارشات حاکی از آن است که استفاده از بیوچار بقایـای برنج همراه با مصـرف مقـدار مشخصـی از نیتـروژن جهـت افـزایش بهره‌وری محصول بسیار مناسب می‌باشد (Mavi *et al.*, 2018).

غلظت نیتروژن دانه

نتایج ارائه شده در جدول ۶، حاکی از آن بود که اثرات ساده مقدار مصرف نیتروژن بر غلظت نیتروژن دانه ($P\leq0.01$) معنی‌دار بـود ولـی صفت فوق تحت تأثیر اثـرات سـاده تیمـار مصـرف بیوچـار و روی و همچنین اثر متقابل عوامل آزمـایش قـرار نگرفـت (جـدول ۶). نتـایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد نیتروژن موجب افزایش غلظت نیتروژن در دانه برنج شد، بـه گونـه‌ای کـه مصـرف مقـادیر مختلـف نیتروژن شامل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش غلظـت نیتروژن از ۰/۷۵ درصد در تیمار شـاهد بـه‌ترتیـب بـه ۱/۰۹، ۱/۲۲ و ۱/۳۰ درصد شد، اگرچـه بـالاترین غلظـت نیتـروژن دانـه در شـرایط مصرف ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن حاصـل شـد (جـدول ۷). جذب نیتروژن در برنج ارتباط نزدیکی با فراهمی و هدر رفت نیتروژن از خاک دارد (Huang *et al.*, 2019). بررسی‌های به‌عمل آمده توسط مصلحی و همکاران (Moslehi *et al.*, 2016) نشان داد کـه کـاربرد نیتروژن موجب بهبود رشد گیاه و افزایش غلظت نیتروژن در دانه‌های برنج می‌شود. سایر محققان نیز بیان نمودند که میزان جذب نیتـروژن در برنج همراه بـا افـزایش مقـادیر مصـرف نیتـروژن افـزایش یافـت (Sandhu and Mahal , 2014)، که با نتایج حاصل از ایـن مطالعـه مطابقت دارد. در این تحقیق مشخص شد که تیمار مصـرف بیوچـار و روی اختلاف معنی‌داری در میزان غلظت نیتروژن دانه ایجاد نکردنـد. سایر پژوهشگران نیز گزارش دادند که مصرف جداگانه بیوچار قابلیـت فراهمی کامل عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن را برای گیاه ندارد (Oladele *et al.*, 2019).

جدول ٦- تجزیه واریانس غلظت نیتروژن و روی در دانه برنج تحت تیمارهای آزمایش

Table 6- Analysis of variance for concentrations of N and Zn in grain of rice under experimental treatments

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	غلظت نیتروژن در دانه N concentration in grain	غلظت روی در دانه Zn concentration in grain
Replication	تکرار	2	0.02	0.18
Nitrogen (N)	نیتروژن	3	0.68^{**}	14.009^{*}
Main error	خطای اصلی	6	0.009	1.25
Fertilizers (F)	کودها	3	0.003^{ns}	328.99^{**}
N×F	نیتروژن×کودها	9	0.0009^{ns}	0.74^{ns}
Sub error	خطای فرعی	24	0.009	4.61
CV (%)	ضریب تغییرات	-	8.9	9.0

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. (کودها: بیوچار و نانوذرات روی)

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively. (Fertilizers: Biochar and Zinc nanoparticles)

جدول ۷- مقایسه میانگین غلظت نیتروژن و روی در دانه برنج تحت تیمارهای آزمایش

Table 7- Mean comparison of concentrations of N and Zn in grain of rice under experimental treatments

تیمارهای آزمایش Experimental treatments	غلظت نیتروژن در دانه N concentration in grain (%)	غلظت روی در دانه Zn concentration in grain (mg kg^{-1})
Nitrogen rate (kg ha^{-1}) مقدار نیتروژن		
0	0.75^{c}	22.4^{b}
25	1.09^{b}	23.6^{ab}
50	1.22^{a}	24.1^{ab}
75	1.30^{a}	25.0^{a}
کود (Fertilizer)		
شاهد Control	-	18.9^{b}
بیوچار Biochar	-	19.5^{b}
نانواکسید روی ZnO-NPs	-	28.0^{a}
بیوچار + نانواکسید روی Biochar + ZnO-NPs	-	28.5^{a}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability according to LSD test.

غلظت روی دانه

نتایج نشان داد که اثرات ساده مقادیر کاربرد نیتروژن (P≤0.05) و اثرات اصلی تیمار مصرف بیوچار و روی بر غلظت روی در دانه برنج (P≤0.01) معنی‌دار شد ولی غلظت روی دانه تحت اثر متقابل دو فاکتور معنی‌دار نگردید (جدول ۶). نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمار مقدار مصرف نیتروژن نشان داد که حداکثر غلظت روی در دانه با میانگین ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم با مصرف ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن حاصل شد اگرچه با مقادیر ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن اختلاف آماری معنی‌داری نشان نداد، ولی در شرایط عدم مصرف نیتروژن، غلظت روی دانه حدود ۱۰/۴ درصد کاهش یافت (جدول ۷). این نتیجه حاکی از اثرات مثبت نیتروژن در بهبود وضعیت روی در دانه برنج می‌باشد. جی و همکاران (Ji *et al.*, 2021) بیان داشتند که وجود یک رابطه سینرژیستی بین نیتروژن و روی سبب افزایش معنی‌دار توزیع روی در برنج گردیده است. سایر محققان نیز اثرات مثبت کاربرد نیتروژن بر جذب روی در دانه‌های برنج را گزارش نمودند (Shahane *et al.*, 2018)، که در راستای نتایج حاصل از این پژوهش می‌باشد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات مصرف بیوچار و روی، کاربرد نانوذرات اکسید روی به تنهایی (۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی) و همچنین کاربرد ترکیبی نانوذرات روی و بیوچار (۲۸/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی) سبب تولید بیشترین مقدار غلظت روی در دانه شدند (جدول ۷). محققان گزارش دادند که قطر کمتر نانوذرات موجب جذب بهتر آن‌ها توسط گیاه می‌شود (Kheyri *et al.*, 2018). خیری و همکاران (Kheyri *et al.*, 2019a) دریافتند که محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی باعث افزایش غلظت روی دانه در برنج به میزان ۳۳/۲ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد شد. مطالعات انجام شده توسط سایر محققان نیز حاکی از بهبود معنی‌دار غلظت روی دانه برنج با محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی در مراحل مختلف رشد گیاه می‌باشد (Kheyri and Abbasalipour, 2021; Sheykhzadeh *et al.*, 2021). اگرچه کاربرد بیوچار به تنهایی تغییر معنی‌داری در غلظت روی دانه ایجاد نکرد ولی افزودن آن به نانوذرات روی سبب بهبود غلظت روی در دانه شد. بیوچار از طریق اصلاح خاک‌های زراعی موجب افزایش میزان روی می‌گردد (Wu *et al.*, 2018).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مصرف مقدار مشخصی از کود نیتروژن (۵۰ کیلوگرم در هکتار) می‌تواند ضمن بهبود غلظت عناصر غذایی در دانه، موجب افزایش عملکرد دانه برنج گردد. همچنین، مصرف مقادیر پایین کود نیتروژن موجب کاهش عملکرد و از طرفی کاربرد بیش از اندازه کود نیتروژن ضمن اثرات منفی بر عملکرد برنج، منجر به تحمیل هزینه‌های اضافی مصرف کود بر کشاورز می‌گردد. اگرچه کاربرد نانوذرات اکسید روی از نظر صفات مختلف کمی و کیفی تا حدودی بر مصرف بیوچار برتری داشت ولی بالاترین غلظت عناصر غذایی در دانه و حداکثر عملکرد در شرایط کاربرد ترکیبی نانوذرات اکسید روی و بیوچار حاصل گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر، مصرف نیتروژن به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار و کاربرد ترکیبی نانوذرات

اکسید روی و بیوچار پوسته برنج به‌عنوان مقدار بهینه کود نیتروژن و گزینه مطلوب کودی جهت بهبود عملکرد محصول و غنی‌سازی دانه برنج شناخته شدند.

References

1. Alharby, H. F., Metwali, E. M. R., Fuller, M. P., and Aldhebiani, A. Y. 2016. Impact of application of zinc oxide nanoparticles on callus induction, plant regeneration, element content and antioxidant enzyme activity in tomato (*Solanumlycopersicum* L.) under salt stress. Archives of Biological Sciences 68 (4): 723-735. https://doi.org/10.2298/ABS151105017A
2. Ali, I., Ullah, S., He, L., Zhao, Q., Iqbal, A., Wei, S., Shah, T., Ali, N., Bo, Y., Adnan, M., Amanullah, and Jiang, L. 2020. Combined application of biochar and nitrogen fertilizer improves rice yield, microbial activity and N-metabolism in a pot experiment. PeerJ. https://doi.org/10.7717/peerj.10311
3. Ajayi, A. E., and Horn, R. 2016. Modification of chemical and hydrophysical properties of two texturally differentiated soils due to varying magnitudes of added biochar. Soil Tillage Research 164: 34-44. https://doi.org/10.1016/j.still.2016.01.011
4. Bouqbis, L., Daoud, S., Koyro, H. W., Kammann, C. I., and Ainlhout, L. F. Z. 2016. Biochar from argan shells: production and characterization. International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture 5 (4): 361-365. https://doi.org/10.1007/s40093-016-0146-2
5. Cui, Y. F., Meng, J., Wang, Q. X., Zhang, W. M., Cheng, X. Y., and Chen, W. F. 2017. Effect of straw and biochar addition on soil nitrogen, carbon, and super rice yield in cold waterlogged paddy soils of north China. Journal of Integrative Agriculture 16 (5): 1064-1074. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61578-2
6. Dimkpa, C. O., White, J. C., Elmer, W. H., and Ardea-Torresdey, J. 2017. Nanoparticle and ionic Zn promote nutrient loading of sorghum grain under low NPK fertilization. Journal of Agricultural and Food Chemistry 65 (39): 8552-8559. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02961
7. Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. Vol 982. Soil and Water Research Institute. 130 p. (in Persian).
8. Fageria, N. K., and Santos, A. B. 2008. Yield physiology of dry Bean. Journal of Plant Nutrition 31 (6): 983-1004. https://doi.org/10.1080/01904160802096815
9. Fageria, N. K., Gheyi, H. R., and Carvalho, C. S. 2014. Yield, potassium uptake, and use efficiency in upland rice genotypes. II INOVAGRI International Meeting, 13-16 April, Fortaleza, Brazil. pp 4515-4520.
10. Faraji, F., Esfehani, M., Kavoosi, M., Nahvi, M., and Rabiyi, B. 2012. Effects of split application and levels of nitrogen fertilizer on growth indices and grain yield of rice (*Oryza sativa* Cv. Khazar). Iranian Journal of Field Crop Science 43 (2): 323-333. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2012.28492
11. Farooq, M., Ullah, A., Rehman, A., Nawaz, A., Nadeem, A., Wakeel, A., Nadeem, F., and Siddique, K. H. M. 2018. Application of zinc improves the productivity and biofortification of fine grain aromatic rice grown in dry seeded and puddle transplanted production systems. Field Crops Research 216: 53-62. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.004
12. Hirzel, J., Pedreros, A., and Cordero, K. 2011. Effect of nitrogen rates and split nitrogen fertilization on grain yield and its components in flooded rice. Chilean Journal of Agricultural Research 71 (3): 437-444. https://doi.org/10.4067/S0718-58392011000300015
13. Huang, M., Long, F. A. N., Jiang, L. G., Yang, S. Y., Zou, Y. B., and Uphoff, N. 2019. Continuous applications of biochar to rice: Effects on grain yield and yield attributes. Journal of Integrative Agriculture 18 (3): 563-570. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61993-8
14. Hussain, S., Maqsood, M. A., Rengel, Z., and Aziz, T. 2012. Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. Plant and Soil 361 (1-2): 279-290. https://doi.org/10.1007/s11104-012-1217-4
15. Islam, S. M. M., Gaihre, Y. K., Shah, A. L., Singh, U., Sarkar, M. I. U., Satter, J., Sanabria, M. A., and Biswas, J. C. 2016. Rice yields and nitrogen use efficiency with different fertilizers and water management under intensive lowland rice cropping systems in Bangladesh. Nutrient Cycling in Agroecosystems 106: 143-156. https://doi.org/10.1007/s10705-016-9795-9
16. Jafari.Kelarijani, S. M., Barari Tari, D., Niknejad, Y., Fallah, H., and Amiri, E. 2021. Nitrogen affects on rice growth and nitrogen efficiency indices in different geographical regions in northern Iran. Romanian Agricultural Research 38: 79-92.
17. Ji, C., Li, J., Jiang, C., Zhang, L., Shi, L., Xu, F., and Cai, H. 2021. Zinc and nitrogen synergistic act on root-to-shoot translocation and preferential distribution in rice. Journal of Advanced Research. (In Press). https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.04.005
18. Kamara, A., Kamara, H. S., and Kamara, M. S. 2015. Effect of rice straw biochar on soil quality and the early growth and biomass yield of two rice varieties. Agricultural Sciences 6 (08): 798. https://doi.org/10.4236/as.2015.68077

19. Kavoosi, M., and Yazdani, M. R. 2020. Effect of irrigation interval and nitrogen fertilizer rate on grain yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Hashemi. Iranian Journal of Crop Sciences 22 (2): 168-182. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/abj.22.2.168
20. Kheyri, N., and Mobasser, H. R. 2016. Effect of seedling age and seeding rate in nursery on some agronomic traits and seed yield of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Tarom Hashemi. Journal of Crop Ecophysiology 10 (2): 431-446. (in Persian with English abstract).
21. Kheyri, N., Ajam-Norouzi, H., Mobasser, H. R., and Torabi, B. 2018. Effect of different resources and methods of silicon and zinc application on agronomic traits, nutrient uptake and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.). Applied Ecology and Environmental Research 16: 5781-5798. https://doi.org/10.15666/aeer/1605_57815798
22. Kheyri, N., Ajam-Norouzi, H., Mobasser, H. R., and Torabi, B. 2019a. Effects of silicon and zinc nanoparticles on growth, yield, and biochemical characteristics of rice. Agronomy Journal 111 (6): 3084-3090. https://doi.org/10.2134/agronj2019.04.0304
23. Kheyri, N., Ajam Norouzi, H., Mobasser, H. R., and Torabi, B. 2019b. Comparison of NPs foliar application of silicon and zink with soil application on agronomic and physiological traits of rice (*Oryza sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 17 (3): 503-515. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v17i3.80028
24. Kheyri, N., and Abbasalipour, M. 2021. Effect of foliar application of ZnO nanoparticles on yield components, yield and Zn efficiency indices in rice under water stress. Environmental Stresses in Crop Sciences 13 (4): 1203-1218. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2020.2298.1591
25. Koyama, S., Katagiri, T., Minamikawa, K., Kato, M., and Hayashi, H. 2016. Effects of rice husk charcoal application on rice yield, methane emission, and soil carbon sequestration in andosol paddy soil. Japan Agricultural Research Quarterly 50: 319-327. https://doi.org/10.6090/jarq.50.319
26. Lai, L., Ismail, M. R., Muharam, F. M., Yusof, M. M., Ismail, R., and Jaafar, N. M. 2017. Effect of rice straw biochar and nitrogen fertilizer on rice growth and yield. Asian Journal of Crop Science 9 (4): 159-166. https://doi.org/10.3923/ajcs.2017.159.166
27. Liu, J., Schulz, H., Brandl, S., Miehtke, H., Huwe, B., and Glaser, B. 2012. Shortterm effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 175 (5): 698-707. https://doi.org/10.1002/jpln.201100172
28. Mahmoud-Soltani, S., Allahgholipoor, M., Shakouri Katigari, M., and Poursafar-Tabalvandani, A. 2020. Effect of basal and foliar application of zinc sulphate fertilizer on zinc uptake, yield and yield components of rice (Hashemi Cultivar). Iranian Journal of Soil and Water Research 51: 1013-1026. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.291977.668383
29. Mahmoud Soltani, S., and Abbasian, A. 2021. Simultaneous application effect of rice husk biochar and zinc sulfate fertilizer on yield, yield components of rice (*Oryza sativa* L.) Hashemi cultivar and some soil chemical properties. Iranian Journal of Soil and Water Research 52 (3): 707-719. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.315776.668843
30. Manolikaki, I., and Diamadopoulos, E. 2017. Ryegrass yield and nutrient status after biochar application in two Mediterranean soils. Archives of Agronomy and Soil Science 63 (8): 1093-1107. https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1267341
31. Mavi, M. S., Singh, G., Singh, B. P., Sekhon, B. S., Choudhary, O. P., Sagi, S., and Berry, R. 2018. Interactive effects of rice-residue biochar and N-fertilizer on soil functions and crop biomass in contrasting soils. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 18 (1): 41-59. https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005000201
32. Mazaherinia, S., Astaraei, A. R., Fotovat, A., and Monshi, A. 2010. Effect of nano iron oxide particles on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. Journal of World Applied Sciences 7 (1): 156-162.
33. Moslehi, N., Niknejad, Y., Fallah Amoli, H., and Kheyri, N. 2016. Effect of integrated application of chemical, organic and biological fertilizers on some of the morphophysiological traits of rice (*Oryza sativa* L.) Tarom Hashemi cultivar. Crop Physiology Journal 8 (30): 87-103. (in Persian).
34. Nematzadeh, G. A., Khush, G. S., and Brar, B. S. 1993. Classification of rice germplasm from Iran via isozyme analysis. Rice Genetic Newsletter 1: 1-10.
35. Oladele, S., Adeyemo, A., Awodun, M., Ajayi, A., and Fasina, A. 2019. Effects of biochar and nitrogen fertilizer on soil physicochemical properties, nitrogen use efficiency and upland rice (*Oryza sativa*) yield grown on an Alfisol in Southwestern Nigeria. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture 8: 295-308. https://doi.org/10.1007/s40093-019-0251-0
36. Pampolino, M. F., Manguiat, I. J., Ramanathan, S., Gines, H. C., Tan, P. S., Chi, T. T. N., Rajendran, R., and Buresh, R. J. 2007. Environmental impact and economic benefits of site-specific nutrient management (SSNM) in irrigated rice systems. Agricultural Systems 93 (1-3): 1-24. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2006.04.002
37. Panam, Z., Astaraei, A., and Lakzian, A. 2016. Effect of zinc oxide (nano and ordinary) and *Glomus intraradices* fungi on yield components and concentration of micronutrients in green bean plant. Journal of Soil and Plant Interactions 7 (2): 71-83. (in Persian with English abstract).

38. Paramasivam, K., Saraswathi, R., Subramanian, M., Marimuthu, R., Parthasarathy, P., Ramanathan, S., Manuel, S. W., and Ranganathan, T. B. 2005. A high yielding medium duration rice variety for Tamil Nadu. Mad Agriculture Journal 92: 1-3.
39. Pramanik, K., and Bera, A. K. 2013. Effect of seedling age and nitrogen fertilizer on growth, chlorophyll content, yield and economics of hybrid rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Agronomy and Plant Production 4 (S): 3489-3499.
40. Rehman, H. U. 2014. N-Zn dynamics under different rice production systems (Doctoral dissertation. University of Agriculture. Faisalabad).
41. Sandhu, S. S., and Mahal, S. S. 2014. Performance of rice under different planting methods, nitrogen levels and irrigation schedules. Indian Journal of Agronomy 59 (3): 392-397.
42. Schulz, H., Dunst, G., and Glaser, B. 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. Agronomy for sustainable development 33 (4): 817-827. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0150-0
43. Shahane, A. A., Shivay, Y. S., Kumar, D., and Prasanna, R. 2018. Interaction effect of nitrogen, phosphorus, and zinc fertilization on growth, yield, and nutrient contents of aromatic rice varieties. Journal of Plant Nutrition 41: 2344-2355. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1510507
44. Sheykhzadeh, M., Mobasser, H., Rahimi Petrodi, E., and Rezvani, M. 2021. Effects of foliar application of potassium silicate and nanoparticles (silicon + zinc) in different stages of growth and development on quantitative yield and grain enrichment of rice (*Oryza sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 19 (1): 73-89. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.37184.0
45. Tayefe, M., Gerayzade, A., Amiri, E., and Nasrollah Zade, A. 2014. Effect of nitrogen on rice yield, yield components and quality parameters. African Journal of Biotechnology 13 (1): 91-105. https://doi.org/10.5897/AJB11.2298
46. Tuyogon, D. S. J., Impa, S. M., Castillo, O. B., Larazo, W., and Johnson-Beebout, S. E. 2016. Enriching rice grain zinc through zinc fertilization and water management. Soil Science Society of America Journal 80 (1): 121-134. https://doi.org/10.2136/sssaj2015.07.0262
47. Wu, P., Cui, P. X., Fang, G. D., Wang, Y., Wang, S. Q., Zhou, D. M., Zhang, W., and Wang, Y. J. 2018. Biochar decreased the bioavailability of Zn to rice and wheat grains: insights from microscopic to macroscopic scales. Science of the Total Environment 621: 160-167. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.236
48. Xu, H., Zhong, G., Lin, J., Ding, Y., Li, G., Wang, S., Liu, Z., Tang, S., and Ding, C. 2015. Effect of nitrogen management during the panicle stage in rice on the nitrogen utilization of rice and succeeding wheat crops. European Journal of Agronomy 70: 41-47. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.008
49. Yuvaraj, M., and Subramanian, K. S. 2014. Fabrication of zinc nano fertilizer on growth parameter of rice. Trends in Biosciences 7 (17): 2564-2565.